

Квазиупругое рассеяние света в кубических релаксорных сегнетоэлектриках

С.Г. Лушников¹, Н.К. Дерез¹, А.И. Федосеев¹, Seiji Kojima²

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, 194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: sergey.lushnikov@mail.ioffe.ru

²University of Tsukuba, 305-8573 Tsukuba, Ibaraki, Japan

Динамика решетки в частично разупорядоченных кристаллах может принципиально отличаться от классических представлений теории Ландау и развитых в рамках мягкомодового подхода Андерсона и Кохрана. Ярким примером такого неклассического поведения служит динамика решетки семейства релаксорных сегнетоэлектриков (релаксоров) со структурой перовскита. Введение двух разновалентных ионов в А или В подрешетку перовскита АВО₃ приводит к появлению растянутых на сотни градусов, частотно-зависимых аномалий физических свойств, которые не связаны со структурным фазовым переходом [1]. Уникальные пьезоэлектрические и диэлектрические характеристики этих соединений, и твердых растворов на их основе получили широкое применение в современной электронной промышленности. Многолетние и интенсивные теоретические и экспериментальные исследования этого семейства кристаллов не привели к появлению однозначной трактовки наблюдаемых явлений в динамике кристаллической решетки релаксоров [2]. К настоящему времени сформировалась общая точка зрения, что ответственными за аномальную динамику решетки являются полярные нанообласти, и их взаимодействие с колебаниями решетки. Эти же полярные нанообласти, по-видимому, приводят к появлению интенсивного квазиупругого рассеяния света в рамановских и бриллюэновских спектрах рассеяния в релаксорах. Нужно отметить, что на фоне отсутствия критической динамики оптических и акустических фононов в экспериментах по неупругому рассеянию света в релаксорах, поведение квазиупругого рассеяния света вызывало большой интерес. Высказывалось предположение, что именно это рассеяние играет ключевую роль в динамике решетки релаксоров.

В бриллюэновских и рамановских исследованиях релаксоров квазиупругий вклад описывается с помощью функции Лоренца. Последние исследования квазиупругого рассеяния света в релаксорах показали, что продуктивным оказался так называемый «метод частотных окон», в котором сначала проводятся измерения бриллюэновского рассеяния света с различными частотными окнами интерферометра (от 6 до 800 ГГц), а потом комбинируют их, «склеивая» результаты измерений в виде одного широкого комбинированного спектра в указанном диапазоне частот. Зачастую к этим спектрам добавляют и рамановские спектры, расширяя область частот до 100 см⁻¹ (3000 ГГц). Таким образом доступным для экспериментальных исследований оказался самый сложный участок низкочастотного колебательного спектра кристаллов. Анализ комбинированных спектров неупругого рассеяния света в кристаллах модельного релаксора PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O₃ (PMN) позволил авторам статьи [3] предложить фрактальную модель, которая описывает механизм возникновения этого рассеяния. Недавние исследования пространственной организации полярных нанодоменов в PMN показали их самоподобие [4], которое хорошо согласуется с фрактальным подходом к PMN, предложенным в работах [3, 5-6]. Использование этого подхода к анализу низкочастотной динамики решетки другого релаксора – Na_{1/2}Bi_{1/2}TiO₃ (NBT) показал сложности с описанием наблюдаемых явлений в рамках фрактального приближения [7]. Более того, анализ комбинированного спектра неупругого рассеяния света в PMN в другой геометрии рассеяния при изменении температуры не подтвердил предлагавшийся в работе [3] фрактальный подход к результатам измерений (Рис. 1).

Ниже представлены примеры комбинированных спектров NBT и PMN (Рис. 1) при изменении температуры. Рассмотрим подробнее представленные рисунки. Хорошо видно, что в двойном логарифмическом масштабе представленные спектры (для обоих указанных

соединений), не всегда могут быть описаны с помощью функции Лоренца. Таким образом, квазиупругое рассеяние, наблюдаемое в широком частотном диапазоне в склеенном спектре представляет собой достаточно сложную функцию, определяемую функцией распределения времен релаксаций. И эта функция при разных температурах, по-видимому, меняется. Именно с этим связаны изменения наблюдаемых спектров при эволюции температуры. Нужно также учитывать возможную анизотропию, которая может принципиально менять вид и температурное изменение комбинированных спектров для разных геометрий рассеяния света.

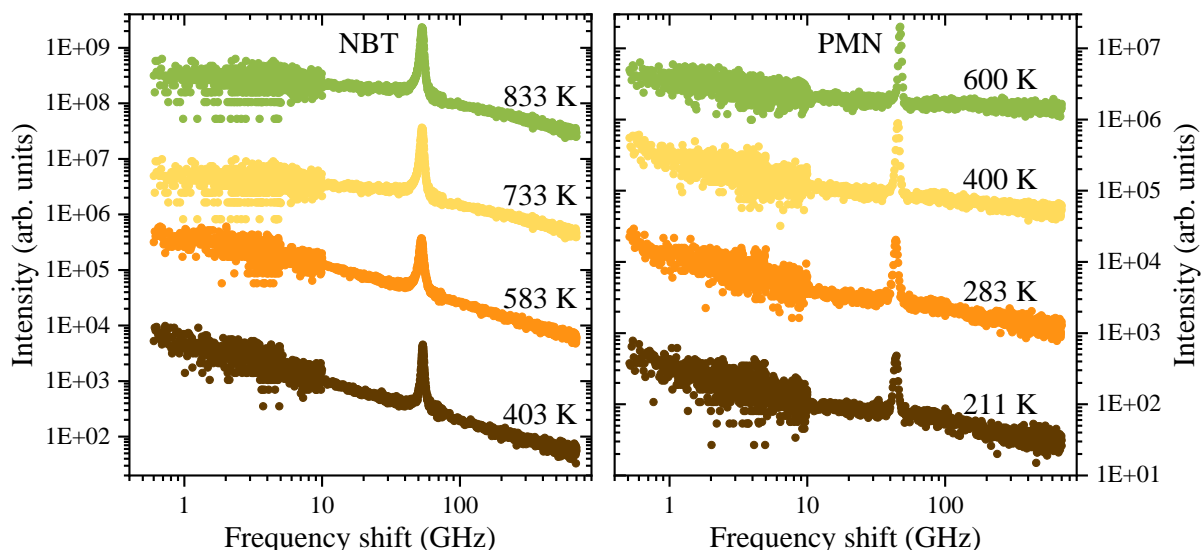


Рисунок 1. Температурная эволюция комбинированных спектров неупругого рассеяния света в кристаллах NBT и PMN.

В настоящем докладе мы подробно рассмотрим используемые методы и подходы для анализа низкочастотной области колебательного спектра релаксоров с помощью неупругого рассеяния света. Обсудим полученные нами и приведенные в литературе результаты и рассмотрим возможные пути решения возникающих противоречий при анализе данных. Рассмотрим также предполагаемые механизмы возникновения квазиупругого рассеяния света в релаксорах.

1. G.A. Smolenskii, V.A. Isupov, N.N. Krainik, R.E. Pasinkov, A.I. Sokolov, *Ferroelectrics and Related Materials*, Gordon and Breach Publisher, NY, 543 (1984).
2. R.A. Cowley, S.N. Gvasaliya, S.G. Lushnikov, B. Roessli, and G.M. Rotaru, *Advanced in Physics* **60**, 229 (2011).
3. A. Koreeda, H. Taniguchi, S. Saikan, and M. Itoh, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 197601 (2012).
4. Andrew L. Goodwin *Nat. Comm.* **10** 4461 (2019).
5. S.G. Lushnikov, S.N. Gvasaliya, I.G. Siny, *Physica B* **263-264**, 286 (1999).
6. S.N. Gvasaliya, S.G. Lushnikov, Y. Moriya, H. Kawaji, T. Atake, M.B. Smirnov, V.Yu. Kazimirov, *J. Phys.: Condens. Matter* **16**, 8981 (2004).
7. A.I. Fedoseev, E.A. Popova, P.P. Syrnikov, Seiji Kojima, S.G. Lushnikov, *JETP Lett.* **102**, 903 (2015).